

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra metalurgie a slévárenství

Návrh technologie lití kotlového článku.
Casting technology design of boiler section.

Bakalářská práce

Autor:

Dalibor Piekar

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra metalurgie a slévárenství

Zadání bakalářské práce

Student:

Dalibor Piekar

Studijní program:

B2109 Metalurgické inženýrství

Studijní obor:

2109R033 Slévárenské technologie

Téma:

Návrh technologie lití kotlového článku
Casting Technology Design of Boiler Section

Zásady pro vypracování:

1. Literární rozbor technologie odlévání litinových odlitků
2. Analýza současné technologie odlévání kotlového článku
3. Návrh nové technologie lití kotlového článku
4. Ověření návrhu pomocí simulace plnění formy
5. Verifikace navržené technologie
6. Vyhodnocení cílů práce a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Vondrák, V. a kol. *Metalurgie litin, vtokové soustavy a nálitkování*. II. vydání VŠB-TU Ostrava. 2005. 101 s., ISBN 80-248-0960-5.
- [2] Bednář, B. *Technologičnost konstrukce odlitků*. 1. vyd. UJEP, ÚTRV, Ústí nad Labem 2004. 101 s. ISBN 80-7044-614-5.
- [3] Kořený, R. *Výrobní postupy odlitků*. 1. vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1989, 161 s.
- [4] Skarbiński, M. *Navrhování technologických postupů ve slévárnách*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959, 445 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Hampl, Ph.D.**

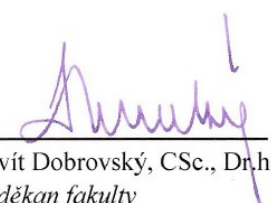
Konzultant bakalářské práce: Ing. Rudolf Šalbut

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 30.04.2013




prof. Ing. Karel Michalek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|----------------------------------------------|------------------------------|
| 1. Titulní list | 5. Obsah BP |
| 2. Zásady pro vypracování BP | 6. Textová část BP |
| 3. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 7. Seznam použité literatury |
| 4. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | 8. Přílohy |

ad 1) Titulním listem je originál zadání BP, který student obdrží na své oborové katedře.

ad 2) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za titulním listem. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 3) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listě (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníky a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právníké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 4) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listě česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 5) Obsah BP se uvádí na zvláštním listě. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 6) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury). Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na

ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 8).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 7) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 8) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

IV.

Bakalářská práce, která neodpovídá těmto zásadám, nemůže být přijata k obhajobě. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2012/2013.

Ostrava 30. 11. 2012

Prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 30.4.2013.....

Dalibor Pisk.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Touto cestou bych rád vyjádřil poděkování doc. Ing. Jiřímu Hamplovi, Ph.D., za odbornou pomoc a cenné rady, bez kterých by tahle bakalářská práce nemohla vzniknout. Zároveň bych chtěl poděkovat vedoucímu technologického úseku Ing. Rudolfu Šalbutovi a technologovi Ing. Ladislavu Wencelovi za dodání podkladů k této bakalářské práci a umožnění odzkoušení mého návrhu v reálné praxi.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem výrobního postupu daného odlitku kotlového článku.

V teoretické části jsem se zaměřil na procesy při výrobě odlitků.

Praktická část je zaměřena na návrh vtokové soustavy odlitku kotlového článku. Nedílnou součástí této práce je konstrukční výkres stávající a nově navrhnuté vtokové soustavy.

Klíčová slova

odlitek, vtoková soustava, kotlový článek, návrh

Abstract

The main goal of this work is to design a manufacturing procedure for the chosen casting of the segment of boiler.

Theoretical part of the work is focused on some of the processes connected with casting manufacturing.

Practical part deals with design of new gating system for the casting. Important part of this work is also a technical drawing of both the old and the new design of the gating system.

Keywords

casting, gating system, boiler segment, design,

Obsah

0	ÚVOD.....	1
1	TECHNOLOGIE ODLÉVÁNÍ LITINOVÝCH ODLITKŮ	2
1.1	Příklady strukturních diagramů	2
1.1.1	Strukturní složky litin	4
1.2	Druhy litin.....	5
1.2.1.	Grafitické litiny	5
1.2.2	Karbidické litiny	6
1.3	Značení litin dle českých a evropských norem.....	7
1.4	Očkování.....	8
1.4.1	Účel očkování	8
1.4.2	Požadavky na vlastnosti očkovadel	8
1.4.3	Způsoby očkování.....	9
1.5	Volba dělicí roviny	10
1.6	Vtoková soustava.....	10
1.6.1	Základní prvky vtokové soustavy	11
1.6.2	Výpočet vtokové soustavy	12
1.7	Tavení litin.....	14
1.7.1	Tavení litin v kuplovnách	15
2	ANALÝZA SOUČASNÉ TECHNOLOGIE ODLÉVÁNÍ KOTLOVÉHO ČLÁNKU	16
2.1	Formovna.....	16
2.2	Výroba tekutého kovu	16
2.2.1	Hodnotící parametry kvality taveniny	16
2.2.1.1	Teplota kovu v předpecí	16
2.2.1.2	Kontrola zákalky a očkování	16
2.2.1.3	Termická analýza.....	17
2.2.1.4	Chemické složení.....	18
2.3	Odlévání kotlového článku.....	18
2.4	Výroba jádra kotlového článku.....	19
2.5	Příprava formovací směsi	20
2.6	Vtoková soustava kotlového článku	21
2.6.1	Výpočet parametrů dosavadní vtokové soustavy	23
3	NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE.....	24
3.1	Výpočet navrhované vtokové soustavy	24

3.1.1	Výpočet doby lití	24
3.1.2	Výpočet střední tlakové výšky.....	24
3.1.3	Výpočet minimálního průřezu vtokové soustavy	24
3.1.5	Výpočet struskového kanálu.....	25
3.1.6	Výpočet parametrů vtokového kůlu.....	25
3.2	Návrh nového tvaru vtokové soustavy	26
4	OVĚŘENÍ NÁVRHU POMOCÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU Magmasoft® ..	27
5	VERIFIKACE NAVRŽENÉ TECHNOLOGIE.....	29
6	ZÁVĚR.....	30
	Seznam použité literatury	31
	Seznam obrázků.....	32
	Seznam tabulek.....	33
	Seznam příloh	34
	Příloha P 1.....	35
	Příloha P 2.....	36

Úvod

Slévárenství je jednou z klasických technologií zpracování kovových materiálů. Umožňuje nejrychlejší výrobu požadované součásti ze surovin.

Pokrok v těchto technologiích umožnil výrobu odlitků nejrůznějších složitých tvarů, které nelze vyrobit jinými technologiemi.

Odlévat lze výrobky o hmotnosti od několika gramů až po několik stovek tun, s tloušťkou stěny od několika milimetrů do několika tisíc milimetrů.

V současné době jsou kladeny stále vyšší nároky na kvalitu výrobků, snižování nákladů na výrobu a zvyšování produktivity. Tyto vlivy nutí konstruktéry a technology, aby stále častěji kladli důraz na technologii výroby odlitků, což je hlavně správná konstrukce odlitků, navržení vtokové soustavy a v neposlední míře zvládnutí technologie odlévání roztaveného tekutého kovu. S rychle rozvíjejícím se nárůstem výpočetní techniky, si mohou konstruktéři a technologové výpomocí naprogramovatelnými simulacemi pro odlévání a tím se vyvarovat některých vad v odlitcích, ještě před finálním spuštěním konkrétních výrobků do sériové výroby.

Cílem této bakalářské práce je návrh technologie lití kotlového článku, simulace odlévání pomocí počítačového programu Magmasoft® a ověření výpočtových výsledků v podmínkách reálné praxe na hotových odlitcích.

1 Technologie odlévání litinových odlitků.

Ve slévárnách je v současnosti využívána široká škála postupů, které se liší především způsobem výroby forem, výroby jader a litím odlitků. Konstrukce odlitku nám určuje volbu technologie z důvodu požadavku na kvalitu, jakost a předpokládaný objem výroby daného odlitku.

Přesto někteří konstruktéři ještě stále pohlíží na odlitky s nedůvěrou. Zdají se jim příliš těžkopádné či robustní, a tím i nevhodné pro moderní výrobky. Nevěří příliš jejich spolehlivosti, jakosti, kvalitě povrchu a omezené přesnosti.

Současné možnosti slévárenské technologie vyvracejí možné obavy díky pokroku v oblasti metalurgie, výroby forem (jader) a v nemalé míře díky možnosti využití počítačové simulace, která napomáhá optimalizovat konstrukci odlitku s ohledem na zatížení, pnutí, deformace a výskyt vad.

Na rozdíl od jiných technologií zpracování kovů, které pracují s různými polotovary známých vlastností, je ve slévárenské technologii skutečnost, že struktura a tvar produktu vznikají v relativně krátkém časovém intervalu bez možností různých korekcí[1].

Mezi hlavní výhody odlévání patří:

- vysoké využití materiálu
- ovládání struktury a vlastností odlitků
- menší přídavky na obrábění
- možnost dosažení vysoké tuhosti
- nižší spotřeba energií ve srovnání s tvářením, nebo obráběním z různých polotovarů
- možnost zhotovovat odlitky v široké škále hmotností
- dosáhnout i poměrně jednoduchými postupy složité prostorové tvary[1].

Litiny tvoří největší podíl ze všech slévárenských slitin. V ČR se ročně vyrábí kolem asi 400 000 t litinových odlitků, což je asi 70 % hmotnosti všech odlévaných slitin.

V současné době asi 85 % tonáže všech litinových odlitků tvoří litina s lupínkovým grafitem (LLG), méně než 15 % litina s kuličkovým grafitem (LKG) a dále malé množství odlitků z jiných druhů litin[2].

1.1 Příklady strukturních diagramů

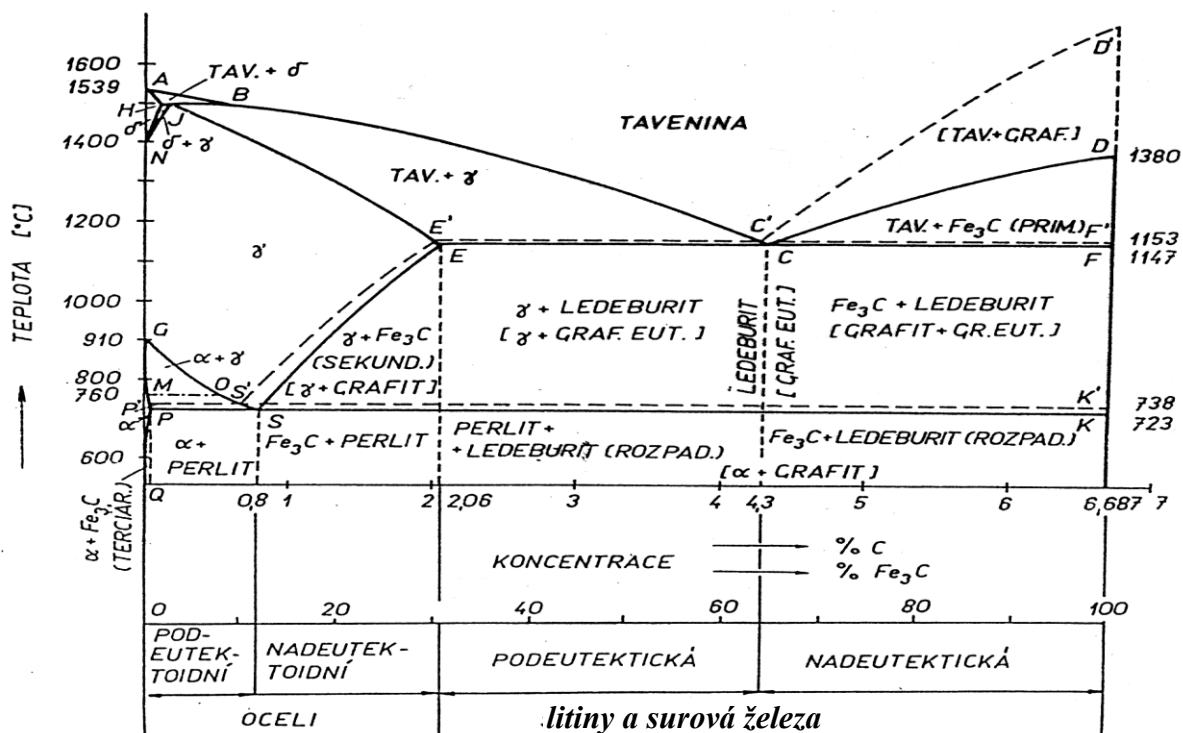
Litiny jsou slitiny železa, uhlíku a dalších prvků, v nichž je uhlík vyloučen jako grafit nebo vázán jako karbid Fe_3C , případně karbid jiného prvku[2].

Obsah uhlíku v litinách je vyšší, než odpovídá jeho maximální rozpustnosti v austenitu, t.j. přibližně více, než 2 % C[9].

Rovnovážný diagram Fe - C ----- Fe - Fe_3C

Tuhne-li slitina podle rovnovážného diagramu Fe - C, vzniká grafit (např. šedá litina), tuhne-li podle nerovnovážného diagramu Fe - Fe_3C , vzniká cementit (bílá litina).

Litiny krystalizují podle stabilního nebo metastabilního diagramu Fe-C, resp. Fe- Fe_3C , případně se v průběhu tuhnutí a chladnutí uplatňují oba systémy - obr. 1[2].



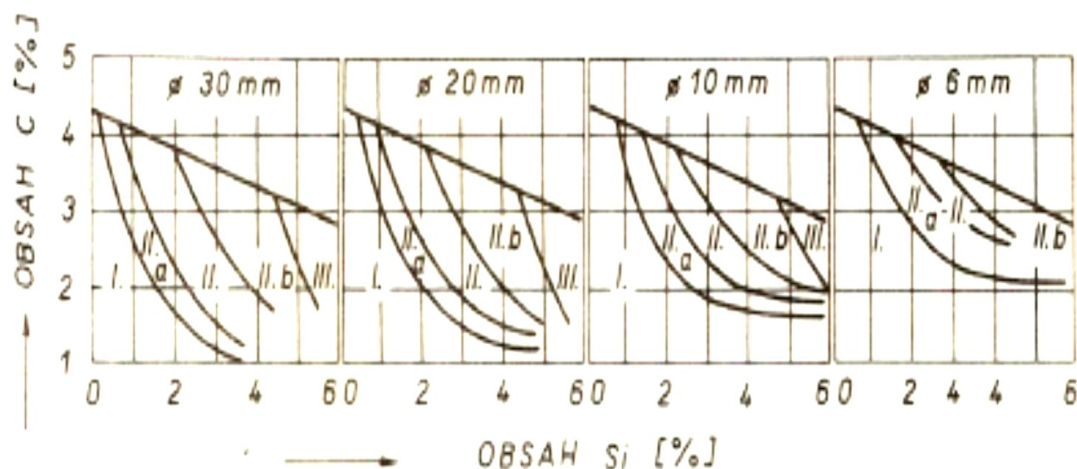
Obr. 1 Rovnovážný diagram Fe - C ----- Fe - Fe₃C[2].

Strukturní diagramy podle Uhlitsche a Weichelta

Druh i skladba struktury litin jsou funkcí nejen chemického složení, ale také podmínek tavení a zpracování taveniny před litím, licí teploty a zejména podmínek chladnutí. Proto důležitou roli hraje velikost odlitku, tloušťka jeho stěn, tepelná vodivost stěn formy apod.

Strukturní diagramy podle Uhlitsche a Weichelta (obr. 2) jsou sestaveny na základě experimentálních výsledků na zkušebních tyčích o \varnothing 6, \varnothing 10, \varnothing 20 a \varnothing 30 mm.

Jednotlivá pole diagramů přísluší různým strukturám litiny, a to bílé (I), šedé perlitické (II) a šedé feritické (III). Přechodné oblasti přísluší litině mákové (II a) a šedé feritico-perlitické (II b)[13].



Obr. 2 Strukturní diagramy podle Uhlitsche a Weichelta[13].

1.1.1 Strukturní složky litin

Struktura litin je tvořena grafitem a základní kovovou hmotou.

Grafit

Grafit je krystalická forma uhlíku.

Rozeznáváme tyto druhy grafitu:

Eutektický- (lupínkový, kuličkový, červíkovitý) - vzniká při tuhnutí eutektika. S austenitem tvoří takzvané grafitické eutektikum.

Primární - vzniká jako primární fáze při tuhnutí nadeutektických grafitických litin. Má tvar hrubých lupínků a při dostatečně pomalém tuhnutí odlitku nebo při odstátí litiny v pánvi vyplouvá na hladinu kovu a tvoří grafitický šum. U silnostěnných odlitků může zůstat uzavřen především v horních partiích stěn. Primární grafit má ve struktuře litiny velice nepříznivý vliv na její mechanické vlastnosti[2].

Ferit

Vznikne eutektoidní transformací austenitu podle stabilního diagramu. Při pomalém ochlazování podporuje vznik feritu.

Mechanické vlastnosti: měkký, tvárný, s relativně nízkou pevností, dobře obrobitelný, v litinách je nositelem houževnatosti[2].

Perlit

Je eutektoid vzniklý rozpadem austenitu podle metastabilního systému. Bývá tvořen feritem a perlitickým cementitem, který mu dodává větší tvrdost a pevnost, než má ferit.

Perlit má dvě morfologické formy:

lamelární perlit - (v odlitcích obvyklá forma - vzniká při běžném chladnutí odlitků), zpravidla je tvořen lamelami feritu a cementitu, které rovnoběžně rostou vedle sebe.

globulární perlit - vzniká sbalením lamel cementitu při sferoidizačním žíhání.

Mechanické vlastnosti: ve srovnání s feritem má perlit vyšší pevnost a tvrdost, horší obrobitelnost, horší plastické vlastnosti a vyšší odolnost proti opotřebení[2].

Austenit

U nelegovaných litin je austenit stabilní jen v nadeutektoidních teplotách.

V odlitcích se vyskytuje pouze:

- v legovaných litinách (zejména legovaných niklem - nad 18% Ni)
- po tepelném zpracování jako zbytkový austenit

Mechanické vlastnosti: měkký, dobře tvárný, paramagnetický, odolný proti korozi a proti působení vysokých teplot.

Austenitické litiny se často používají pro výrobu žáruvzdorných a korozivzdorných odlitků[2].

Cementit

Je u nelegovaných litin tvořen karbidem železa Fe_3C se 6,67 %C. Za přítomnosti le-
gur (např. Mn, Cr, W, V, Mo) mohou být atomy železa nahrazovány atomy těchto prvků za vzniku komplexních karpidů typu $(\text{Fe},\text{X})_3\text{C}$.

Mechanické vlastnosti: velmi tvrdý (660 až 850 HB) a křehký. Při vyšším obsahu ve struktuře se litina stává neobracovatelnou[2].

Ledeburit

Eutektikum, které v metastabilní soustavě Fe-Fe₃C, obsahuje 4,3 %C. Je tvořen austenitem a ledeburitickým cementitem. Při eutektoidních teplotách se ledeburitický austenit transformuje na perlit a vzniká tzv. transformovaný ledeburit.

Mechanické vlastnosti: je poměrně křehký, má bílé lesklé a velmi tvrdé krystaly.

V grafitických litinách obvykle vzniká v místech s rychlým odvodem tepla jako tzv. zákalka[2].

Martenzit

Vzniká bezdifuzním rozpadem austenitu při kalení nelegovaných nebo legovaných litin. V legovaných litinách někdy přímo v litém stavu. Martenzitické litiny se používají jen zcela výjimečně.

Mechanické vlastnosti: je velmi tvrdý (až nad 1000 HB), křehký[2].

Bainit

Vzniká jako lící struktura v litinách legovaných zejména Mo a Ni. U nelegovaných litin vzniká při tepelném zpracování.

Mechanické vlastnosti: vysoká pevnost a tvrdost při poměrně dobrých plastických vlastnostech.

Bainitické litiny nazývané taky jako „izotermicky kalené litiny“ patří k moderním, vysoce progresivním materiálům[2].

1.2 Druhy litin

Struktura litin je vždy tvořena primární fází a eutektikem (na rozdíl od oceli, u které eutektikum nevzniká). Litiny s eutektickým složením obsahují pouze eutektikum.

Při tuhnutí podle stabilního diagramu Fe-C vzniká grafitické eutektikum, které je tvořeno austenitem a grafitem. Tyto litiny nazýváme jako litiny grafitické. Mezi grafitické litiny patří litina s lupínkovým grafitem (LLG), litina s kuličkovým grafitem (LKG) a vermikulární litina (LVG). Grafitické litiny tvoří většinu všech odlévaných litin.

Při tuhnutí podle metastabilního systému je eutektikem ledeburit. Složení ledeburitu je tvořeno austenitem a cementitem Fe₃C. Ve struktuře nebývá přítomen žádný volný grafit a takové litiny nazýváme jako bílé nebo karbidické litiny. Karbidické litiny se vyznačují velmi vysokou tvrdostí, křehkostí a jsou téměř neobrobitelné.

1.2.1 Grafitické litiny

Základním kritériem pro určení druhu litin je tvar vyloučeného grafitu. Názvy jednotlivých druhů litin, značky a číselné označování vychází z evropské normy ČSN EN 1560. Podle tvaru vyloučeného grafitu dělíme litiny na následující typy.

Litina s lupínkovým grafitem - LLG (šedá litina) - má ve struktuře lupínkový (lamelární) grafit (obr.3 a). Mechanické vlastnosti litiny s lupínkovým grafitem jsou ovlivněny kromě tvaru, velikosti a množství grafitu, především chemickým složením a rychlostí ochlazení.

Tyto dva faktory určují zejména konečnou podobu matrice litiny (podíl feritu a perlitu, popř. vznik ledeburitu). Struktura je závislá na výrobních podmínkách, chemickém složení, doby tuhnutí a rychlosti ochlazení ve formě. Velký vliv má i tloušťka stěn, hmotnost a konstrukce.

Litina s kuličkovým grafitem – LKG (litina tvárná) - litina s kuličkovým grafitem je slitina železa s uhlíkem, křemíkem, manganem a dalšími prvky, ve které množství uhlíku přesahuje maximální hodnotu rozpustnosti v austenitu, přičemž převážná část uhlíku je vyloučena už v tekutém stavu jako kuličkový grafit (obr.3 b).

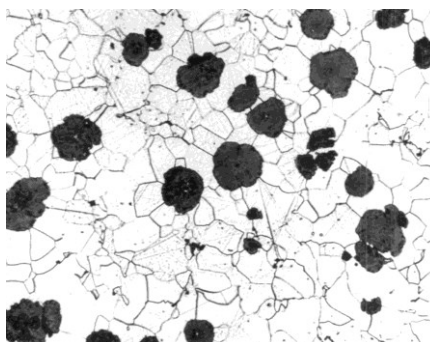
Litina vermikulární - LVG (litina s červíkovitým grafitem) - má ve struktuře zvláštní tvar grafitu a to červíkovitý či vermikulární grafit. Někdy obsahuje i malé množství nedokonale zrnitého grafitu. Červíkovitý (vermikulární) grafit je morfologická varianta grafitu, nacházející se mezi lupínkovitým a zrnitým grafitem (obr.3 c).

Temperovaná litina – TL (litina s vločkovým grafitem) - je svým chemickým složením podeutektická bílá litina s nízkým stupněm eutektičnosti, která je tepelně zpracována tzv. temperováním (obr.3 d).

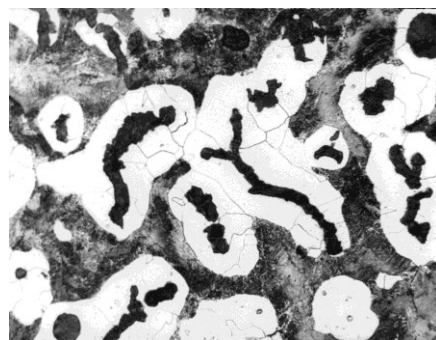
Temperování je dlouhotrvající žhání odlitků z bílé litiny, kdy se začíná rozpadat ledeburitický či perlitický cementit. Tímto procesem vzniká vločkový grafit, který je typický pro tuto litinu [2, 3].



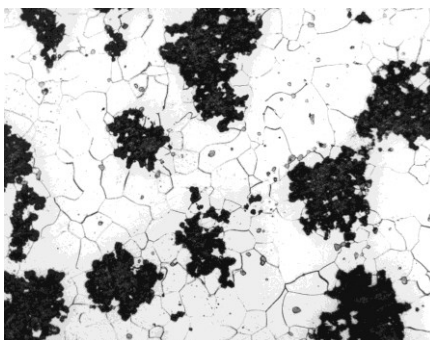
a)



b)



c)



d)

Obr. 3 Tvar grafitu v litinách: a) lupínkový -LLG b) kuličkový - LKG
c) vermikulární - LVG d) vločkový – TL

1.2.2 Karbidické litiny

Grafit je zcela nebo částečně vázán jako karbid železa, manganu, chromu, molybdenu a dalších karbidotvorných prvků. Karbidické litiny mají vysokou tvrdost a ořezuvzdornost[2].

1.3 Značení litin dle českých a evropských norem

Česká norma ČSN 42 0006 se oficiálně téměř nevyužívá. V některé starší literatuře, ale také na některých provozech se s ní můžeme ještě setkat. Proto uvádím v tabulce 1 způsob značení litin dle této již nepoužívané normy.

Tabulka 1. Značení litin dle starší normy ČSN 42 0006[4].

ČSN 42 2X YY .AB	
ČSN	Pozice má neměnné složení znaků
42	Pozice označuje třídu (materiály na odlitky)
2	Pozice rozděluje litiny, oceli
X	Zabývá se grafitickými litinami
	3 Litina s kuličkovým grafitem LKG
	4 Litina s lupínkovým grafitem LLG
	5 Temperovaná litina
YY	Vyjadřuje pevnost v R _m v tahu v desítkách MPa
A	První dodatková číslice (druh tepelného zpracování)
B	Druhá dodatková číslice (způsob odlévání)

Podle evropské normy ČSN EN 1560, která přesně označuje možné značení grafitických litin je možno značit 2 způsoby:

- Zkrácené značení dle mechanických vlastností, nebo chemického složení
- Číselné značení

V praxi je častěji užívané značení dle mechanických vlastností, proto jsem se rozhodl jej uvést. Litina je označena 5- 6 znaky. Kromě prvních dvou, které jsou pro litiny vždy stejné, obsahuje toto označení typ grafitu, matrice a hodnoty mechanických vlastností dané litiny. Všechny doplňující informace jsou v tabulce 2[4].

EN GJ xx - x - x

1. Pozice obsahuje EN
2. Pozice obsahuje znaky GJ (G označuje odlitek, J značí litinu)
3. Pozice označuje tvar grafitu (velké písmeno)
4. Pozice označuje mikrostrukturu, nebo makrostrukturu (matrice)
5. Pozice uvádí mechanické vlastnosti, nebo chemické složení litiny
6. Pozice udává dodatečné požadavky na odlitek

Tabulka 2. Doplnující informace ke značení slitin dle ČSN EN 1560[4].

Tvar grafitu (3. pozice)					
L	Lupínkový	S	Kuličkový	M	Vločkový (Temperovaný uhlík
V	Červíkový	Y	Zvláštní tvar	N	Bez grafitu (Bílá litina)
Struktura matrice (4. pozice) - není nutné ji udávat					
A	Austenit	M	Martenzit	Q	Struktura po kalení
F	Ferit	L	Ledeburit	T	Struktura po zušlechtování
P	Perlit	B	Neoduhličená struktura (temperovaná - černý lom)		
		V	Oduhličená struktura (temperovaná - bílý lom)		
Mechanické vlastnosti (5,6 pozice)					
Označení pevnosti (čísllice udává min. pevnost v tahu v MPa)					
Označení tažnosti (čísllice udává nejmenší hodnotu v %)					
Způsob výroby zkušebních těles:					
S	odděleně litý vzorek	U	přilítý vzorek	C	Vzorek vyříznutý z odlitku
Označení tvrdosti:					
HB	podle Brinnela	HV	podle Vickerse	HR	podle Rockwella
Označení teploty zkoušky rázem v ohybu:					
RT	pokojová teplota	LT	nízká teplota		
Chemické značení (5. pozice)					
X					
Třímístná číslice (značí stonásobek procenta uhlíku)					
Legující prvky (jejich chemická značka)					
Množství v procentech se odděluje pomlčkami					

1.4 Očkování

Očkování je jeden z hlavních způsobů mimopecního zpracování roztavené litiny. Předpokladem procesu je, aby roztavená litina v první fázi tavení (v peci) měla dostatečný nukleační potenciál pro další očkovací proces daný složením vsázky[10].

1.4.1 Účel očkování

Podstatou očkování je heterogenní nukleace, která je podporována vnášením očkovacích látek, obvykle na bázi FeSi do roztavené litiny.

Očkování použijeme, chceme-li dosáhnout zvýšení počtu cizích grafitizačních zárodků, dosáhneme tak zjemnění vyloučeného grafitu, jestliže chceme zabránit vzniku volného cementitu a pro snížení výskytu zákalky v kritických průřezích.

Očkování ovlivňuje strukturu základní kovové hmoty (u LKG) a způsob vyloučení grafitu (u LLG). U temperované litiny zkracuje dobu temperování.

Očkovací účinek je zhruba 20 minut od přidání očkovadla do taveniny[5].

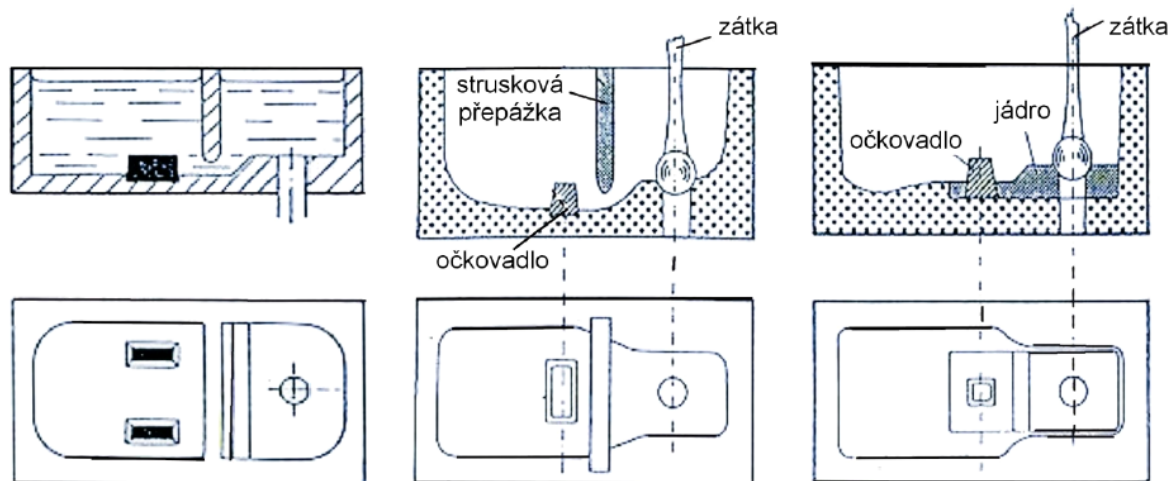
1.4.2 Požadavky na vlastnosti očkovadel

- 1- dobrá rozpustnost v tavenině
- 2- obsah prvků zvyšujících aktivitu uhlíku, jako jsou Si, Al a další
- 3- obsah prvků, které mění mezifázové napětí zvýšením povrchového napětí taveniny, jako např. Ba, Ca, Zr a další.
- 4- skladování očkovadel v uzavřených plechových nádobách v suchém prostředí[3].

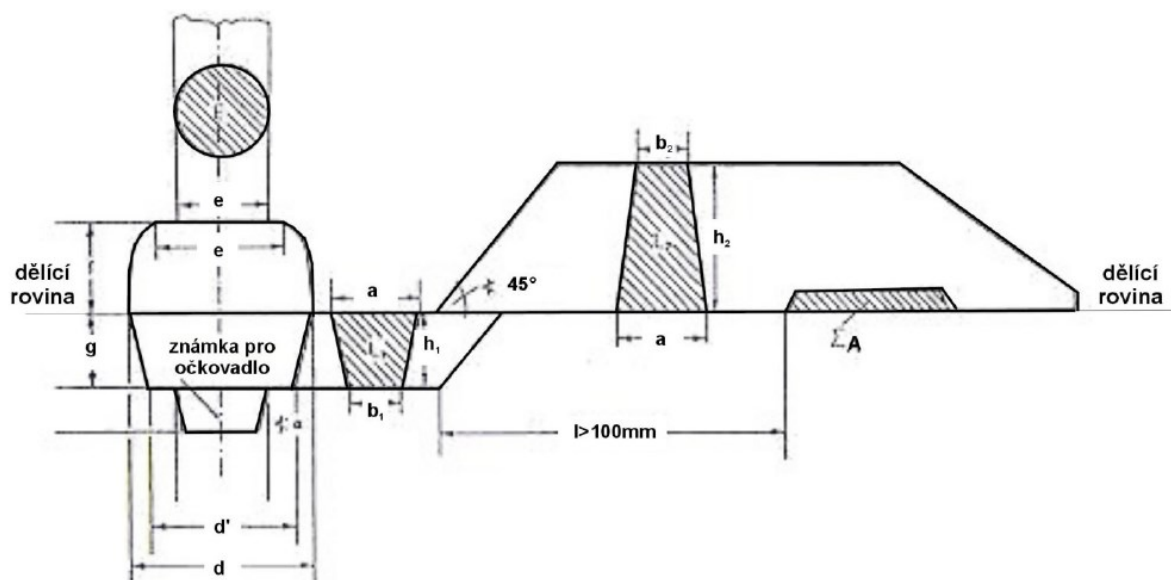
1.4.3 Způsoby očkování

V současné době se používá řada různých způsobů přidávání očkovadla do roztavené litiny.

- 1) **Očkování tekutým očkovadlem**
- 2) **Očkování granulovaným očkovadlem** (nejčastější způsob). Rozměr zrn se pohybuje v rozmezí od 0,2 mm až po 10 mm.
- 3) **Očkování kompaktními tělisky**, která se vkládají buď do lici jamky (obr. 4), nebo do reakční komůrky ve vtokové soustavě (obr. 5)[5].

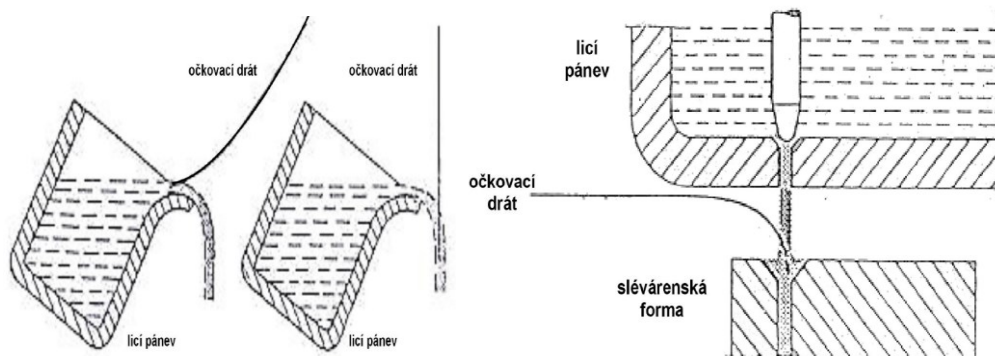


Obr. 4 Schéma uspořádání očkování v lici jamce[5].

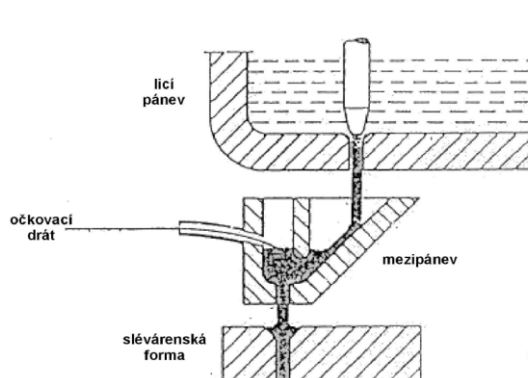


Obr. 5 Vtoková soustava pro očkování kompaktními tělisky[5].

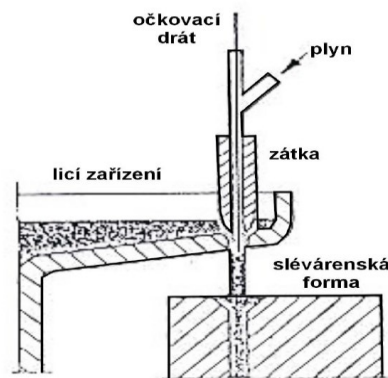
- 4) **Očkování plněnými profily**- profil je přiváděn buď přímo do proudu kovu (obr. 6), do mezipánve (obr. 7), nebo přes uzavírací zátku odlévacího zařízení (obr. 8).



Obr. 6 Různé způsoby očkování plněnými profily do proudu kovu[5].



Obr. 7 Očkování do mezipánve[5].



Obr. 8 Očkování přes zátku odl.zařízení[5].

1.5 Volba dělicí roviny

Forma bývá obvykle dělená, složená ze dvou polovin tak, že se buď model (v případě formování do pískových forem) nebo odlitek (lití do kovových forem) mohl z formy vyjmout.

Plocha nebo rovina, která rozděluje daný odlitek na jednu nebo více částí se nazývá dělicí rovina.

Při stanovení dělicí roviny se řídíme zásadami:

Geometrický tvar odlitku - je jedním z rozhodujících činitelů. Dělicí rovinou může být rovinná stěna odlitku. Dělicí rovina zpravidla protíná odlitek v jeho plošně největším průmětu.

Dodržení zásady kladně usměrněného tuhnutí - to je postupné tuhnutí odlitku od jeho nejspodnější části k částem odlitku nejvýše umístěným ve formě při odlévání za působení zemské tíže.

Tenké stěny velkých odlitků do spodní části formy - se umísťují hlavně z důvodu dokonalého zaplnění těchto stěn s ohledem na možný výskyt vady, která je označována jako nezaběhnutí[6].

1.6 Vtoková soustava

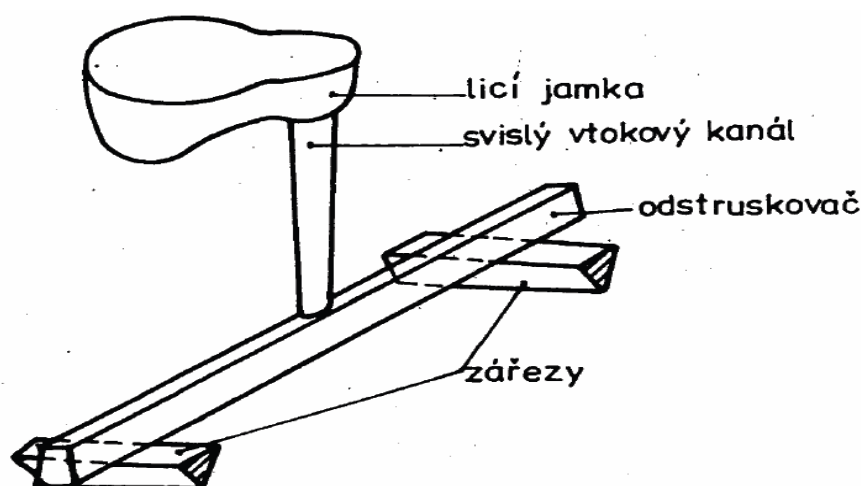
Vtoková soustava tvoří systém kanálků, kterými při odlévání proudí veškerý tekutý kov do dutiny formy. Tento systém kanálků tvoří jednu z nejdůležitějších částí formy. Soustava musí být správně navržena a dobře provedena z kvalitního materiálu.

Nesprávné provedení vtokové soustavy je příčinou mnoha typů vad odlitků. Při návrhu vtokového systému se řídíme zákony o proudění tekutin[7].

- Úkolem vtokové soustavy je zajistit:
- rovnoměrné, stálé a klidné plnění dutiny formy optimální rychlostí.
 - aby došlo k plnému zaběhnutí ve všech částech odlitku
 - aby nedošlo k poškození stěny formy a jader
 - odstranění nečistot a strusky v poslední fázi odlévání
 - usměrněné tuhnutí

1.6.1 Základní prvky vtokové soustavy

Mezi základní prvky vtokové soustavy patří vtoková jamka, vtokový kanál, struskový kanál a zářezy (obr. 9).



Obr. 9 Schéma vtokové soustavy pro odlévání litin[9].

Vtoková jamka

Slouží k zachycení proudu kovu z licí pánve a jeho usměrnění do vtokového kanálu. Zachycuje strusku, usměrňuje tok kovu z licí pánve. Objem licí jamky lze stanovit ze vzorce 1.

$$V_{jamky} = \frac{G_s}{\tau_l} \cdot n \quad (1)$$

kde:

G_s - surová hmotnost odlitku (kg)

τ_l - doba lití (s)

n - součinitel, měnící se podle hmotnosti odlitku ... 100 kg $\rightarrow n = 3$

10³ kg $\rightarrow n = 6$

nad 10 tun $\rightarrow n = 7$ až 8

Vtokový kanál

Slouží k přivedení tekutého kovu z vtokové jamky do úrovně zářezů. Mívá většinou kruhový průřez, který se kuželovitě zvětšuje směrem k vtokové jamce. Velmi důležitý je horní průřez. Aby ve vtokové soustavě nevznikl podtlak, musí být průřez v určitém vztahu k nejužšímu průřezu vtokové soustavy[11].

Struskový kanál

Rozvádí taveninu tj. tekutý kov k zářezům a zachycuje strusku a nečistoty, které tekutý kov cestou strhl.

Pro správnou funkci musí být při lití zaplněn kovem a jeho průřez musí být větší než součet ploch zářezů[8].

Zářezy

Spojují struskový kanál s dutinou formy. Jednotlivé umístění zářezů nesmí být na koncích struskového kanálu. Kov musí narazit na stěnu struskového kanálu, tím se vytváří podmínky pro vyplavení strusky[8].

1.6.2 Výpočet vtokové soustavy

Doba lití – je důležitým faktorem, neboť může podstatně ovlivnit kvalitu výrobku. Nevhodná doba lití může vyvolat povrchové vady odlitku (zálupy, připečeniny), nebo vnitřní vady (porézita, bublinatost) odlitku [8].

Doba lití podle **Dieterta** se vypočítá ze vzorce 2.

$$t = s \cdot \sqrt{G_h} \quad (s) \quad (2)$$

kde:

G_h - hrubá hmotnost odlitku (kg)

s - součinitel charakterizující složitost odlitku a tloušťky stěny

tloušťka odlitku 3 – 4 mm → $s = 1,63$

5 – 8 mm → $s = 1,85$

9 – 15 mm → $s = 2,20$

Doba lití podle **Osanna** se vypočítá ze vzorce 3.

$$t = \check{s} \cdot \sqrt[3]{G_h} \quad (s) \quad (3)$$

kde:

\check{s} - součinitel ($\check{s} = 1,4$)

G_h - hrubá hmotnost odlitku (kg)

Doba lití podle **Dubického - Soboleva** se vypočítá ze vzorce 4.

$$t = s \cdot \sqrt[3]{G_h} \cdot \delta \quad (s) \quad (4)$$

kde:

G_h - hrubá hmotnost odlitku (kg)

s - součinitel, charakterizující složitost odlitku a tloušťku stěny (nejčastěji 1,4)

δ - střední tloušťka stěn odlitku (mm)

Určení řídicího průřezu vtokové soustavy

Základním řídicím průřezem je nejužší průřez vtokové soustavy – zářez. Celkovou plochu zářezů (S_z) můžeme vypočítat dle Osanna ze vzorce 5

$$S_z = \frac{G}{\tau \cdot \mu \cdot \rho_t \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{stř.}}} \quad (m^2) \quad (5)$$

kde:

S_z - celková plocha zářezů (m^2)

G - hmotnost odlitku (kg)

ρ_t - měrná hmotnost tekutého kovu (kg/m^3)

τ - doba lití (s)

μ - součinitel celkového odporu vtokové soustavy (-)

$H_{stř.}$ - střední výška lití (m)

g - gravitační zrychlení ($9,81 \text{ m/s}^{-2}$)

Odpor vtokové soustavy – brzdí rychlost tekutého kovu při jeho proudění. Odpor proudění jsou způsobovány viskozitou tekutého kovu, drsností stěn kanálků a hlavně změnami průřezů kanálků a jejich ohyby. Odpor vtokové soustavy lze vypočítat dle rovnice 6.

$$\mu = \frac{V_{skutečné}}{V_{teoretické}} \quad (-) \quad (6)$$

Hodnoty odporu formy pro litinu jsou znázorněny v tabulce 3.

Tabulka 3 - Hodnoty odporu formy proudění tekutého kovu

Materiál formy	velký	střední	malý
syrová forma	0,35	0,42	0,5
sušená forma	0,41	0,48	0,6

Střední výška lití (tlaková výška) – závisí na poloze zářezů vůči horní části odlitku. Metalostatický tlak se během lití mění i vlivem stoupání hladiny ve formě a tudíž se mění i vtoková rychlost kovu v zářezích. Střední výšku lití vypočítáme z rovnice (7)[9].

$$H_{stř.} = \frac{2 \cdot hc \cdot C - P^2}{2 \cdot C} \quad (m) \quad (7)$$

kde:

$H_{stř.}$ - střední výška lití (m)

hc - je rozměr definovaný vzdáleností mezi středem výšky vtokové jamky a středem výšky zářezu (m)

P - výška odlitku nad zářezem (m)

C - výška odlitku ve formě (m)

Přetlaková a podtlaková soustava

Po výpočtů průřezů zářezů (S_z) další rozměry vtokové soustavy vypočteme z předem zvolených poměrů základních prvků vtokové soustavy.

Podtlaková vtoková soustava - kov volně vytéká z nezaplňného zářezu po stěně formy [8, 9].

$$S_z : S_s : S_k = 5 : 4 : 3$$

Přetlaková vtoková soustava - kov ze zářezů dutiny formy stříká [8, 9].

$$S_z : S_s : S_k = 3 : 8 : 4$$

kde:

S_z - průřez zářezů

S_s - průřez struskového kanálu

S_k - průřez vtokového kůlu

Průřez struskového kanálu S_s

Vtoková soustava bude počítána pro odlitek z LLG. Proto budeme počítat průřez struskového kanálu pro přetlakovou vtokovou soustavu z rovnice 8.

$$S_s = \frac{8}{3} \cdot S_z \quad (mm^2) \quad (8)$$

Průřez vtokového kůlu S_k vypočítáme z rovnice 9.

$$S_k = \frac{4}{3} \cdot S_z \quad (mm^2) \quad (9)$$

Průměr vtokového kůlu vypočítáme z rovnice 10.

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot S_k}{\pi}} \quad (mm) \quad (10)$$

1.7 Tavení litin

Tavicí agregáty ve slévárnách litiny musí zajistit výrobu kovu s požadovaným chemickým složením a metalurgickou kvalitou při dosažení dostatečně vysoké teploty roztaveného kovu. Obvykle v rozmezí teplot 1450-1550 °C[2].

Pro tavení litin se používají následující **druhy pecí**:

- kuplovní
- elektrické indukční pece (EIP)
- elektrické obloukové pece (EOP)
- bubnové pece

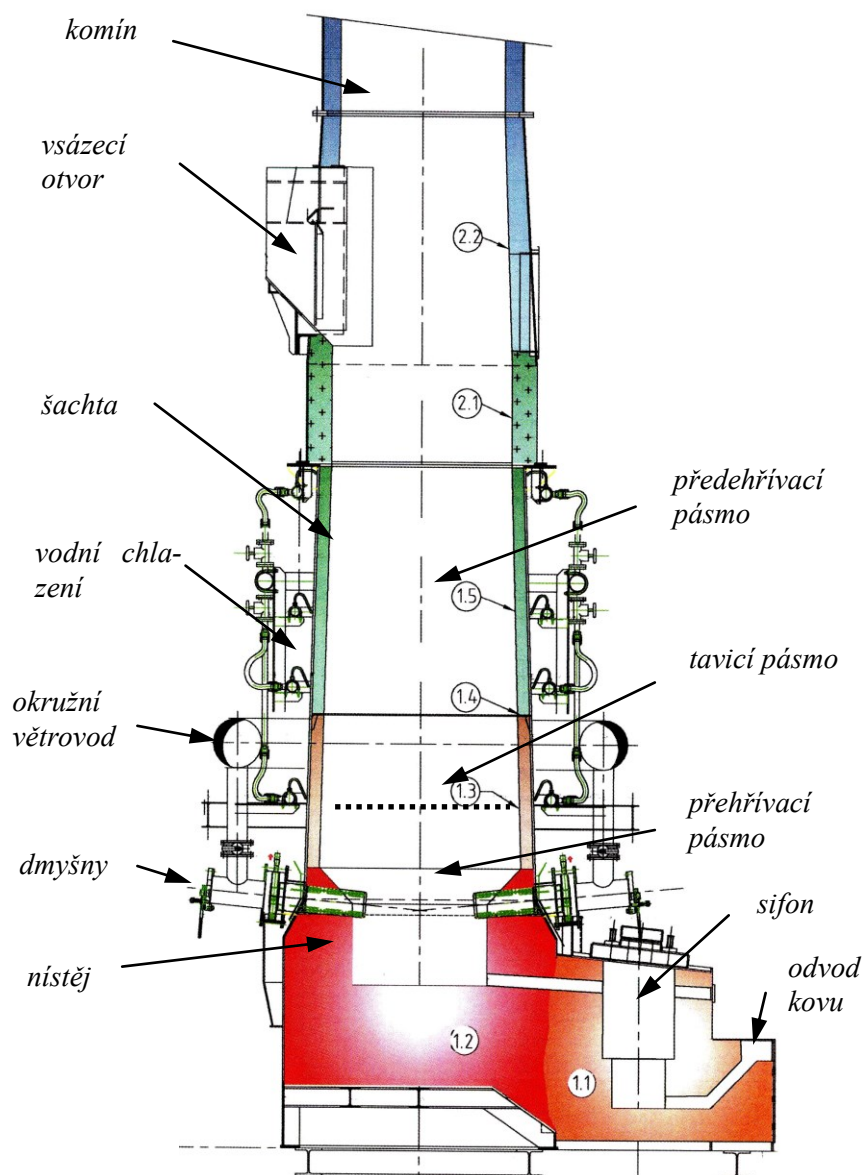
1.7.1 Tavení litin v kuplovnách

Kuplovny jsou šachtové pece (obr. 10), které fungují jako protiproudý výměník tepla. Zdrojem tepla v kuplovnách je nejčastěji koks. Kuplovna je tvořena ocelovým pláštěm a po celé výšce, nebo částečně vyzděná žáruvzdornou vyzdívkou.

Základními částmi jsou: **komín** - část nad zavážecím otvorem

šachta - část mezi zavážecím otvorem a dmyšními

nístěj - část mezi dmyšními a dnem kuplovny[2].



Obr. 10 Schéma kuplovny[2].

2 Analýza současné technologie odlévání kotlového článku.

V této kapitole se zabývám výrobou kotlového článku z hlediska formování, odlévání a některými výpočty vtokové soustavy dle výkresové dokumentace. Součástí analýzy jsou také skutečná data z provozních podmínek slévárny VIADRUS a.s. se sídlem v Bohumíně.

2.1 Formovna

Formování odlitků se děje na automatických formovacích linkách Wülfel - Graue pracujících na principu lisování vyššími měrnými tlaky 0,8-1,2 MPa. Linky jsou určeny pro sériovou výrobu odlitků, které mohou být umístěny do formovacího rámu velikosti 1350 x 780 x 120/120 mm. Maximální výkon linek je 180 ks. kompletních forem za hodinu. Formování se skládá z lisování spodní a horní poloformy. Formovací rámy jsou vyrobeny z litiny[12].

Před založením jader pracovníci kontrolují kvalitu jader a provádí potřebné úpravy. Před vložením jádra do spodní poloviny formy vizuálně kontrolují pracovníci uložení spodních podpěrek a kvalitu formy. Způsob zakládání jader a změny v uložení podpěrek určuje technolog.

2.2 Výroba tekutého kovu

Výroba litiny s lupinkovým grafitem probíhá v kupolových pecích.

Zařízení taviřny:

- dvě dvojice horkovětrných kuploven o průměru 1000 mm s předehřevem větru
- zařízení zavážení vsázky
- zařízení předehřívání větru (rekuperátory)
- zařízení pro intenzifikaci kyslíkem (HIGH-JET TDI)
- indukční předpecí FOMET (11 t)
- odprašovací zařízení SCHEUCH
- surovinová rampa s denními zásobníky
- vodní chlazení
- regulační panely

2.2.1 Hodnotící parametry kvality taveniny

Při výrobě daného odlitku jsou zkoušky a jejich vyhodnocování stanoveny v technologickém předpisu. Teplota, chemické složení, termická analýza a délka zákalkové zkoušky je stanovena pro veškerý sortiment vyráběný na výrobním úseku slévárny.

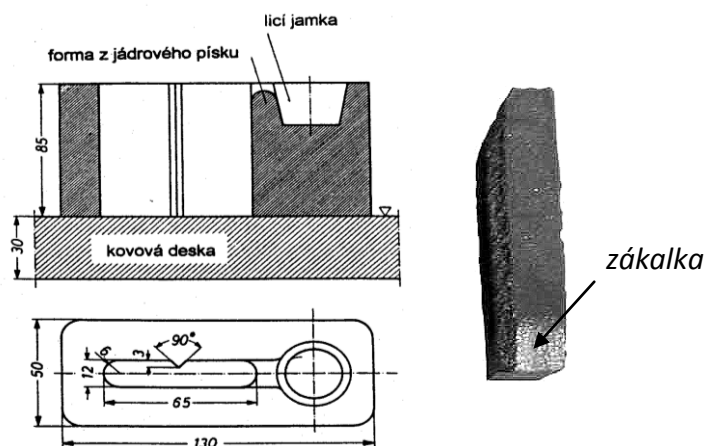
2.2.1.1 Teplota kovu v předpecí

Teplotu litiny, která závisí na druhu odlévaného sortimentu, měří tavič ponorně na vylévacím hrdle indukčního předpecí teplotními sondami (PtRh 10 – Pt). Hodnoty jsou zpracovány přístrojem DITTA 8411 a vizuálně zobrazeny. Jestliže jsou podkročeny limity těchto teplot, nesmí být litina uvolněna k odlévání. Teplota kovu v předpecí pro odlévání kotlového článku je stanovena technologem- metalurgem na 1455-1465°C.

2.2.1.2 Kontrola zákalky a očkování

Vzorek pro zákalkovou zkoušku odlévá tavič do pískové kokilky z vylévacího hrdla předpecí nebo odlévací pánve, ve které je již očkovaný kov. Po vychladnutí se tělísko v místě vrypu rozlomí na dvě poloviny, jedna polovina slouží pro posouzení hloubky zákalky (bílá vrstva), druhá se posílá k chemickému rozboru (obr. 11). Z orientační vizuální kontroly výšky

zákalky a vzhledu lomové plochy tavič usuzuje vliv chemického složení na požadovanou kvalitu litiny. Čím je zákalka vyšší (hlubší) na lomové ploše, tím je v litině méně grafitizačních zárodků, které podporují vyloučení grafitu.



Obr. 11 Zákalková zkouška

Přidáním dostatečného množství očkovací přísady na bázi křemíku, zabezpečí optimální grafitizaci litiny. Nejčastějším způsobem vnášení očkovadla do odlévací pánve je patrně na obrázku 12. Očkování se provádí nasypáním očkovadla do proudu taveniny při vylévání z hrdla předpecí. Odlévací pánve je před nasypáním naplněna z $\frac{1}{4}$ litinou.



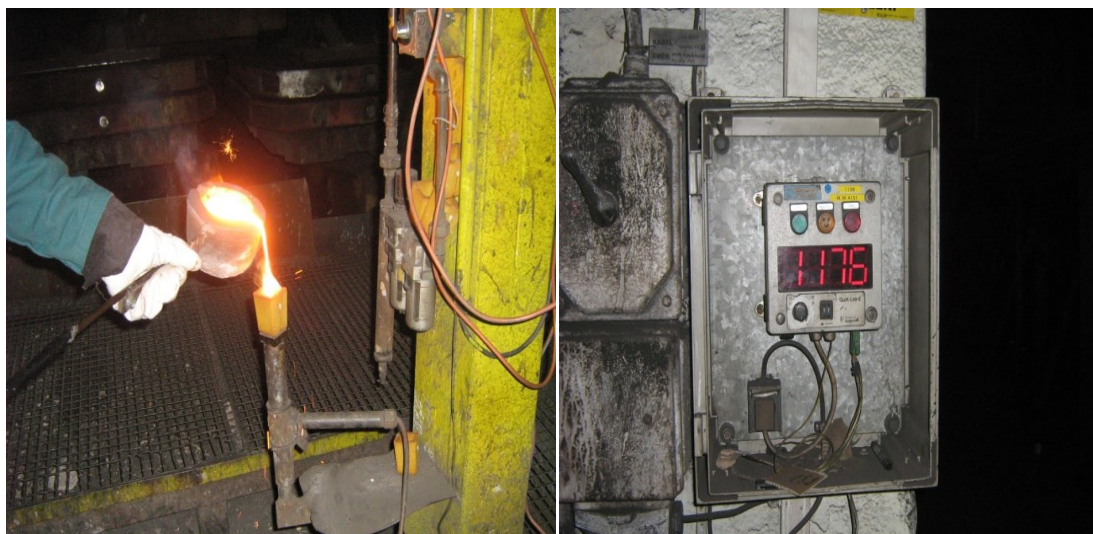
Obr. 12 Očkování do proudu kovu

2.2.1.3 Termická analýza

Termická analýza je další metoda, která pomáhá vyhodnocovat požadované kritéria při výrobě daného odlitku. Jde o metodu, kdy se na odebraném vzorku taveniny odlévaného do zkušebního termočlánku, zaznamenává a vyhodnocuje časový průběh ochlazování.

Informace o účinku očkování a aktivitě krystalizačních zárodků se získají z průběhu křivky ochlazování v oblasti eutektické přeměny. Čím menší je podchlazení litiny

při eutektické přeměně, tím je vyšší hustota grafitizačních zárodků. V daném technologickém procesu je využívána termická analýza na rychlé (nepřímé) určení uhlíkového ekvivalentu CE, obsahu Si a C, teploty likvidu a teploty solidu. Odlévání vzorku pro termickou analýzu je na obrázku 13.



Obr. 13 Odlévání vzorku pro termickou analýzu

2.2.1.4 Chemické složení

Chemické složení litiny se provádí pomocí spektrální analýzy na vzorcích odlévaných společně se vzorky pro zákalkovou zkoušku, termickou analýzu a zkušebními kusy (standardní vzorek dle ČSN EN 1561) pro zjištění mechanických vlastností. Chemické složení pro výrobu kotlového článku je znázorněno v tabulce 4.

Tabulka 4 - Chemické složení litiny pro výrobu kotlových článků a ostatních odlitků dle ČSN 42 2420 (EN-GJL-200)

% C	% Mn	% Si*	% P	% S	% Cr	% Cu**	Sc	Výška zákalky z předpecí
3,35 – 3,55	0,50 – 0,80	1,90 – 2,20	0,10 – 0,50	0,07 – 0,11	max. 0,15	0,20- 0,50	0,93 - 0,99	6-15 mm

2.3 Odlévání kotlového článku

Odlévání forem se provádí na pracovišti „licí pole“, které se nachází na výrobní lince. Jsou používány licí pánve s obsahem kovu 250 kg. s elektricky ovládaným zdvihem a nakládáním.

Před zahájením odlévání provádí odlévači kontrolu odlévací pánve - kvalitu vyzdívky (vizuálně) a vyhřátí pomocí plynového hořáku do červeného žáru.

Připravenou pánve naplní cca 5 cm pod okraj tekutým kovem předepsané teploty. Okamžitá teplota tekutého kovu je měřena opticky.

Po naplnění odlévací pánve tekutým kovem předepsané kvality zakryje odlévač pánve víkem a přetransportuje pánve na licí pole.

Odlévání forem na licím poli provádějí pouze zkušení odlévači. Při lití musí udržovat plnou vtokovou jamku od zahájení, až po zaplnění formy tekutým kovem, které je zobrazeno na obrázku 14.



Obr. 14 Odlévání kotlových článků do forem z jednotné formovací směsi

2.4 Výroba jádra kotlového článku

Výroba jader je prováděna technologií HOT - BOX metodou TERMOŠOK.

Princip metody TERMOŠOK

Metoda TERMOŠOK spočívá v použití vhodného pojivového systému na bázi syntetické pryskyřice, která umožní vytvrzení jader ve velmi krátké době tepelným nárazem (šokem).

Jádrová směs je vstřelena do polovičních forem – do sušící podložky předehřáté na cca. 90°C a do jaderníku. Po jejich složení sklopením a následném odklopení jaderníku se vloží sušící podložka s jádrem do termošokové pece, kde dochází k vytvrzení.

Složení jádrové směsi

Hodnoty složení jádrové směsi pro 1 cyklus (dávku) mísiče je zobrazeno v tabulce 5.

Tabulka 5 - Složení jádrové směsi

Komponenty	Množství	Způsob dávkování
1. Křemenný písek Š 35	440 - 550 kg	Pomocí váhy
2. Drcený jádrový vrat	0 - 110 kg (1+2 cel. 550 kg.)	Pomocí váhy
3. Pojivo Thermocor 912	7,6 - 9,0 kg	Pomocí odměrných nádob
4. Přísada ethylenglykol	~ 1,00 l	Pomocí odměrných nádob
5. Katalyzátor Härter AT 3	~ 1,60 kg	Pomocí odměrných nádob
6. Konserver Treco 1	~ 1,60 kg	Pomocí odměrných nádob
7. Petrolej	~ 1,60 kg	Pomocí odměrných nádob

Technologie výroby jader

Jádrovna je vybavena pracovištěm mísení jádrových směsí, rozvozovou plošinou, výrobní linkou Röper H 25, z nichž se každá skládá ze dvou vstřelovacích strojů a jedné termošokové pece.

Jádrová směs je vstřelena do sušící podložky a jaderníku. Po sklopení se uloží sušící podložka s jádrem do termošokové pece, kde dojde k vytvrzení jádra. Nutno dbát na stanovenou délku průchodu přes termošokovou pec a vhodnou teplotu, tak aby jádra nebyly spálená, nebo syrová.

Na obrázku 15 je zobrazen tvar jádra pro kotlový článek.



Obr. 15 Jádro kotlového článu

2.5 Příprava formovací směsi

K výrobě forem se používá jednotná bentonitová směs. Na slévárně radiátorů je směs připravována v turbínovém mísiči Rotomax MXC 100 (5000 kg). Při nedostatku formovací směsi, jsou na slévárně radiátorů k dispozici dva kolové mísiče MKY 1000 a jeden mísič MKY 710.

Suroviny pro výrobu jednotné bentonitové směsi

Ostrivo - jako ostrivo se používá křemenný písek K 1 - se středním zrnem (0,22) z lokality Grudzień - Las.

Pojivo - směsný bentonit Optimum 30 a Optimum 50 s procentuálním zastoupením 30 a 50% uhlíkaté přísady.

Voda - požadovaná vlhkost formovací směsi je v tolerancích od 2,9 - 4,4 %.

Složení jednotné bentonitové směsi

Hodnoty složení jednotné bentonitové směsi pro 1 cyklus (dávku) mísiče je zobrazeno v tabulce 6.

Tabulka 6 - Složení jednotné bentonitové směsi

Mísič	Vratná směs (kg)	Nový písek (kg)	Bentonit (kg)	Letek (kg)	Odprašky (kg)	Voda (l)
MKY 1000	890 - 930	0 - 50	6 - 10	0 - 4	0	17 - 30
MKY 710	560 - 650	0 - 30	4 - 8	0 - 4	0	12 - 25
MXC 100	3000 - 4800	30 - 100	10 - 30	0 - 8	0 - 30	70 - 120*

* Dávkování vody není samostatně nastavováno, ale je funkcí požadované spěchovatelnosti směsi. Hodnota v tabulce je orientační.

Požadované technologické vlastnosti

Požadované technologické vlastnosti pro jednotnou formovací směs jsou zobrazeny v tabulce 7.

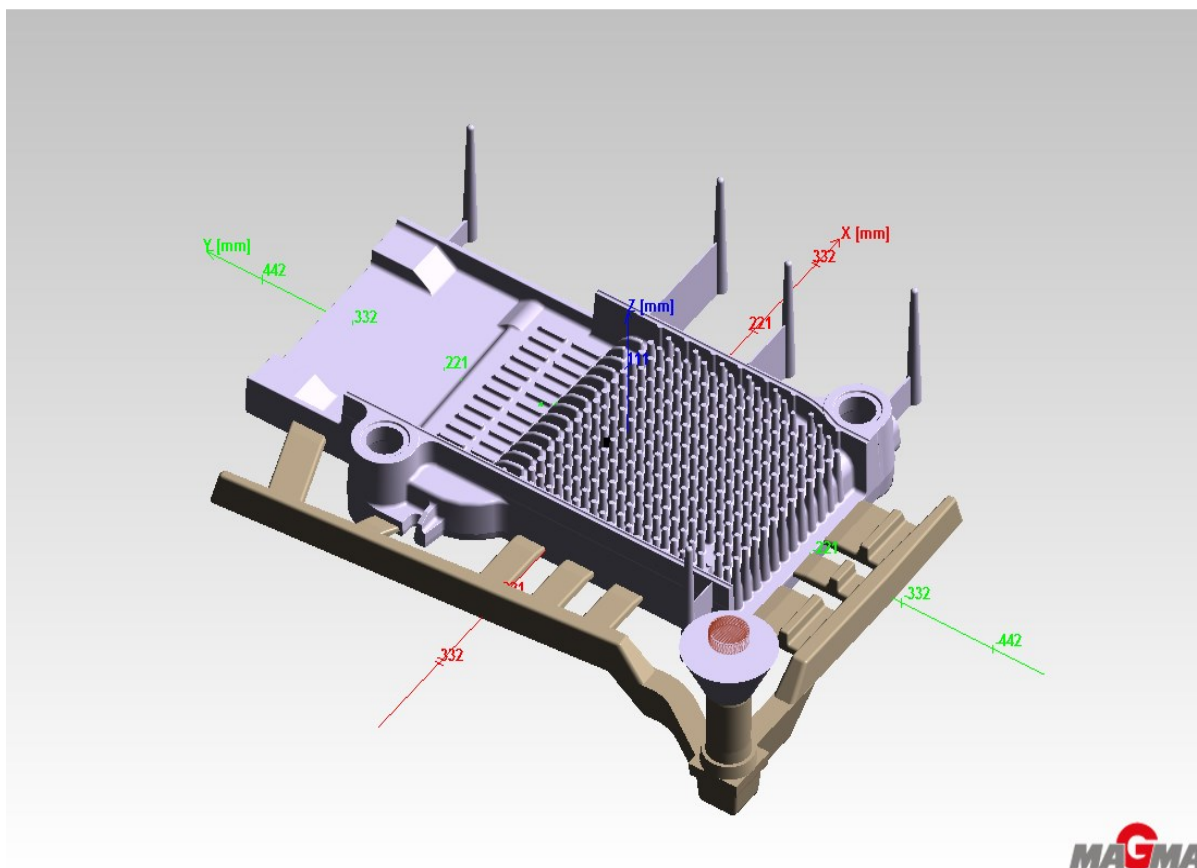
Tabulka 7 - Technologické vlastnosti form. směsi

Technologické vlastnosti	Hodnoty
vaznost (kPa)	150 - 260
vlhkost (%)	2,9 - 4,4
prodyšnost	min. 100
spal. látky (%)	3,5 - 5,9
pevnost ve štěpu	min 30
pH	9,7 - 10,1
spěchovatelnost (%)	27 - 44
houževnatost směsi	min 0,17
vyplavitelné látky (%)	max. 17

2.6 Vtoková soustava kotlového článku

Původní vtoková soustava kotlového článku prošla od svého vzniku různými inovacemi, až po tento konečný stav (obr. 16).

Tento stav byl, ale nevyhovující z důvodu velké předváhy tekutého kovu, vysoké teploty odlévání, pracnému oddělování vtokové soustavy od kotlového článku a následnému půlení na menší části.



Obr. 16 Původní rozvržení vtokové soustavy kotlového článku

Také u této původní vtokové soustavy je dosti vysoká zmetkovitost z důvodů vady „nezaběhlý“ v místě žeber (tzv. jehliček) ve střední části kotlového článku (obr. 17 a 18).



Obr. 17 Kotlový článek s vadou nezaběhlý



Obr. 18 Kotlový článek s vadou nezaběhlý

Tabulka 8 ukazuje klesající tendenci neshodné výroby z titulu „nezaběhlý“. Kotlový článek se začal odlévat na výrobní lince v 8. měsíci roku 2012, kdy byla zmetkovitost na úrovni 26,7%. Postupnými technologickými zásahy jako je zvýšení lící teploty, úprava vtokových zářezů, zvětšení průměru lícího kůlu se podařila snížit neshodná výroba z titulu „nezaběhlý“ až na 7%.

Tabulka 8 - Procentuální vyjádření neshodné výroby z titulu „nezaběhlý“

Měsíc	Hrubá výroba (ks.)	Počet nezab. článků (ks.)	Vyjádřeno v %
8/12	1474	395	26,7
9/12	1758	449	25,5
10/12	2414	382	15,8
11/12	2535	276	10,8
12/12	926	74	7,9

2.6.1 Výpočet parametrů dosavadní vtokové soustavy

K původní vtokové soustavě je přiložen konstrukční výkres vtokové soustavy, který je označen jako příloha P 1.

Z vypočtených hodnot původní vtokové soustavy udávám pouze vypočtené hodnoty průřezů zářezů S_z , průřezů struskového kanálu S_s , průřezu vtokového kůlu S_k a průměr vtokového kůlu d_k . Hodnoty pro výpočet byly získány z konstrukčního výkresu.

Do odlitku je zaústěno 8 zářezů o celkové ploše 1338 mm^2 .

Struskový kanál je rozdělen na 2 části o celkové ploše 2090 mm^2 .

Průměr vtokového kůlu je 46 mm, což je celková plocha 1661 mm^2 .

Tato přetlaková vtoková soustava je zhotovena v poměru

$$S_z : S_s : S_k = 3 : 4,5 : 3,6$$

Hmotnost vtokové soustavy je 12,5 kg.

Hmotnost odlitku 23 kg.

Stupeň využití tekutého kovu η -vypočteme z rovnice 11.

$$\eta = \frac{G_{\check{c}}}{G_h} \cdot 100\% \quad (\%) \quad (11)$$

$$\eta = \frac{23}{35,5} \cdot 100\%$$

$$\eta = 64,78\%$$

$G_{\check{c}}$ - čistá hmotnost odlitku (hmotnost odlitku bez vtokové soustavy, výfuků).

G_h - hrubá hmotnost odlitku (hmotnost odlitku po vytažení z formy, s vtokovou soustavou a výfuky).

3. Návrh nové technologie

Nový návrh spočívá v celkové přeměně vtokové soustavy. Vedly k tomu jak ekonomické, tak technologické důvody.

Z ekonomického hlediska je snaha o snížení váhy vtokové soustavy a možné snížení teploty lití.

Z technologického hlediska snížení zmetkovitosti ve vadě „nezaběhlý“.

3.1 Výpočet navrhované vtokové soustavy

Pro výpočet nové vtokové soustavy potřebujeme znát dobu lití, střední tlakovou výšku, minimální průřez (zářez) vtokové soustavy, velikost struskového kanálu, velikost vtokového kůlu.

3.1.1 Výpočet doby lití

Výpočet doby lití stanovíme podle vztahu Dubického - Soboleva

$$t = s \cdot \sqrt[3]{G_h} \cdot \delta$$

$$t = 1,4 \cdot \sqrt[3]{23} \cdot 7$$

$$t = 7,5 \text{ (s)}$$

3.1.2 Výpočet střední tlakové výšky

$$H_{stř.} = \frac{2 \cdot hc \cdot C - P^2}{2C}$$

$$H_{stř.} = \frac{2 \cdot 0,12 \cdot 0,08 - 0,054^2}{2 \cdot 0,08}$$

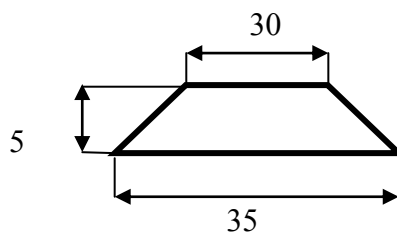
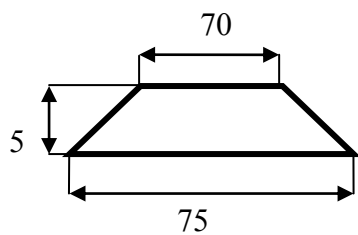
$$H_{stř.} = 0,101 \text{ (m)}$$

3.1.3 Výpočet minimálního průřezu vtokové soustavy

$$S_z = \frac{G}{\tau \cdot \mu \cdot \rho_t \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{stř.}}}$$
$$S_z = \frac{23}{7,5 \cdot 0,35 \cdot 7000 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,101}}$$

$$S_z = 0,000895 \text{ (m}^2\text{)} \rightarrow 895 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Tvar zářezů jsem volil lichoběžníkového tvaru s výškou 5 mm z důvodu nemožnosti zaústění vyššího zářezu (konstrukční vliv). Do odlitku zaústějí 3 zářezy. Dva zářezy o rozměrech 75x70x5 (obr. 19 a). Třetí zářez o rozměrech 35x30x5 je na obrázku 19 b. Celkovou vypočtenou plochu zářezů jsem rozpočítal mezi všechny zářezy.



Obr. 19 a, b Průřez zářezů

3.1.4 Výpočet struskového kanálu

Struskový kanál rozvádí kov do zářezů, které ústí do odlitku. Tvar struskového kanálu jsem opět zvolil do tvaru lichoběžníku. Jelikož se jedná o přetlakovou vtokovou soustavu, vycházím ze vztahu dle autorů [8,9], z poměru:

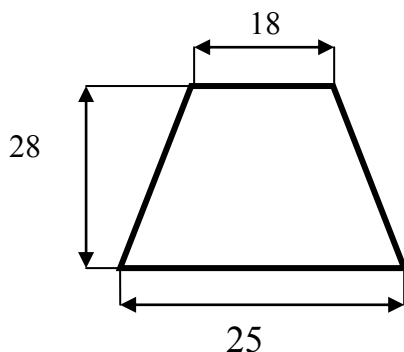
$$S_{\text{zářezů}} : S_{\text{struskováku}} : S_{\text{kůlu}} \\ 3 : 8 : 4$$

$$S_s = \frac{8}{3} \cdot S_z$$

$$S_s = 2,66 \cdot 895$$

$$S_s = 2389 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Rozváděcí struskový kanál je rozdělen na 4 části. Proto bude výsledná velikost struskového kanálu $2389 \text{ (mm}^2\text{)}$ rozdělena rovnoměrně do všech 4 částí. Konečné rozměry struskového kanálu budou $25 \times 18 \times 28$ (obr. 20)



Obr. 20 Rozměry struskového kanálu

3.1.5 Výpočet parametrů vtokového kůlu

Vtokový kůl je kruhového průřezu. Minimální průřez stanovíme opět ze znalostí jednotlivých průřezů vtokové soustavy dle autorů [8,9] z těchto výpočtových poměrů:

$$S_{\text{zářezů}} : S_{\text{struskováku}} : S_{\text{kůlu}} \\ 3 : 8 : 4$$

$$S_k = \frac{4}{3} \cdot S_z$$

$$S_k = 1,33 \cdot 895$$

$$S_k = 1190 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Průměr vtokového kůlu vypočteme z rovnice (12).

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot S_k}{\pi}}$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 1190}{3,14}}$$

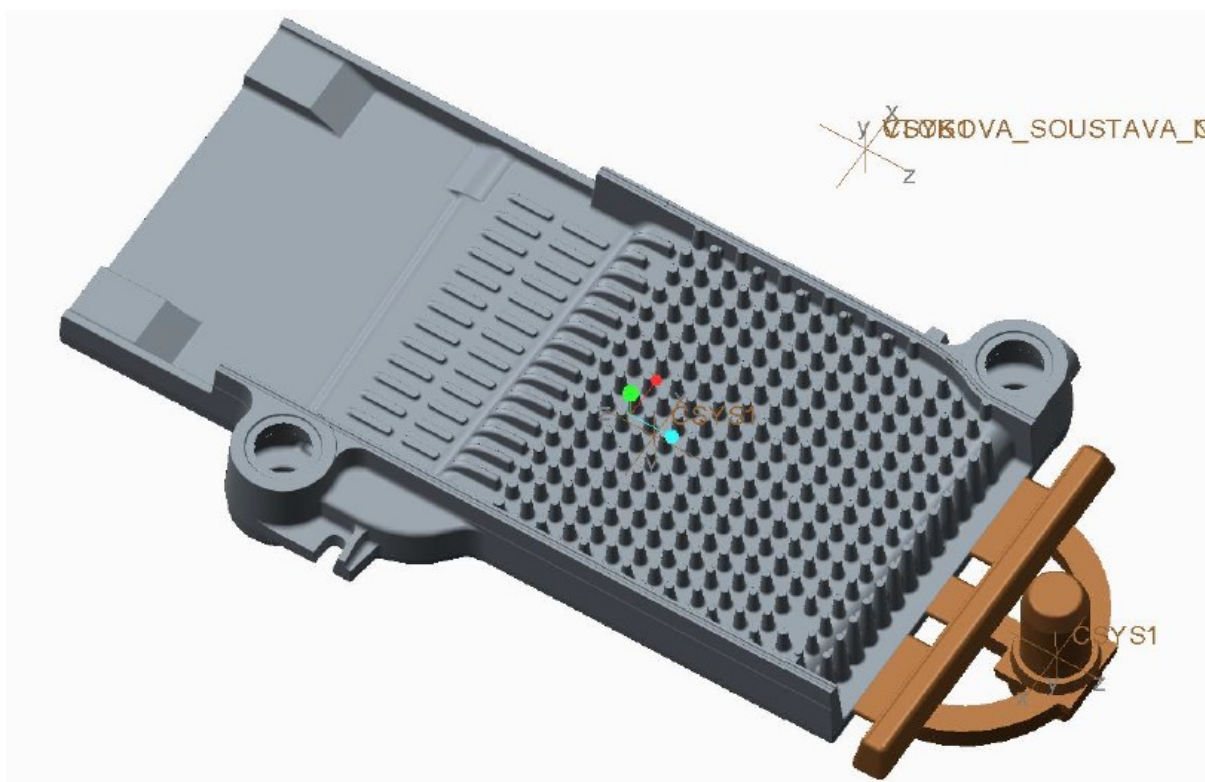
$$d_k = 39 \text{ (mm)}$$

3.2 Návrh nového tvaru vtokové soustavy

Z vypočtených výsledků jsem navrhl vtokovou soustavu, která se skládá z jednoho centrálního struskového kanálu v horní poloformě. Zbývající 3 rozváděcí struskové kanály budou napájet centrální struskový kanál ze spodní poloformy.

Toto rozvržení je z důvodu možného založení keramického sítka do spodní poloformy.

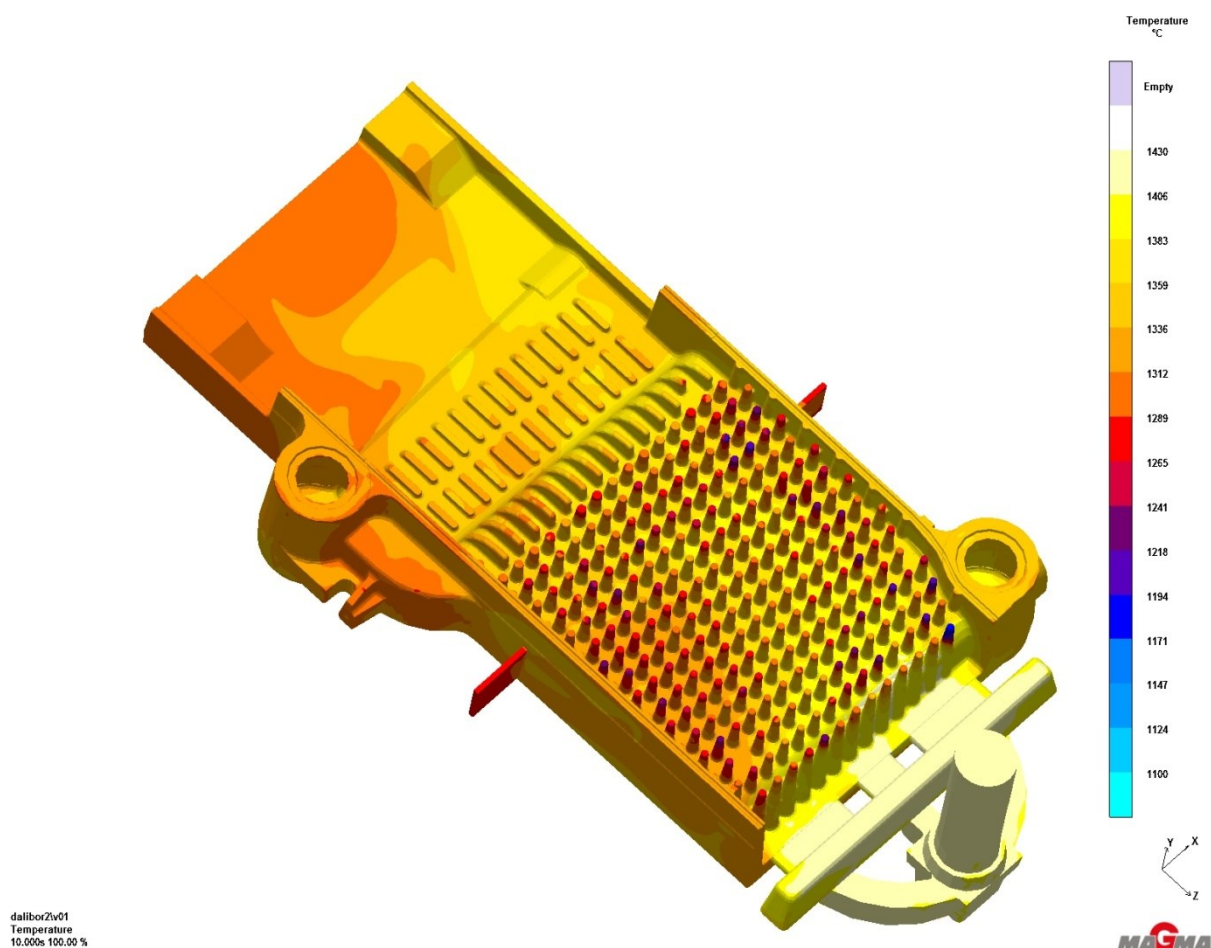
Kotlový článek bude odléván jen z čelní strany, jak je patrné z obrázku 21. K novému návrhu je přiložena příloha konstrukčního výkresu vtokové soustavy číslo P 2.



Obr. 21 Nový návrh vtokové soustavy kotlového článku

4. Ověření návrhu pomocí simulačního programu Magmasoft®

Simulace plnění odlitku tekutým kovem navrženou vtokovou soustavou byla odzkoušena simulačním programem Magmasoft®. Hlavní zadávací podmínka byla v zaplnění kotlového článku tekutým kovem z hlediska celkového zaběhnutí kotlového článku (obr. 22).

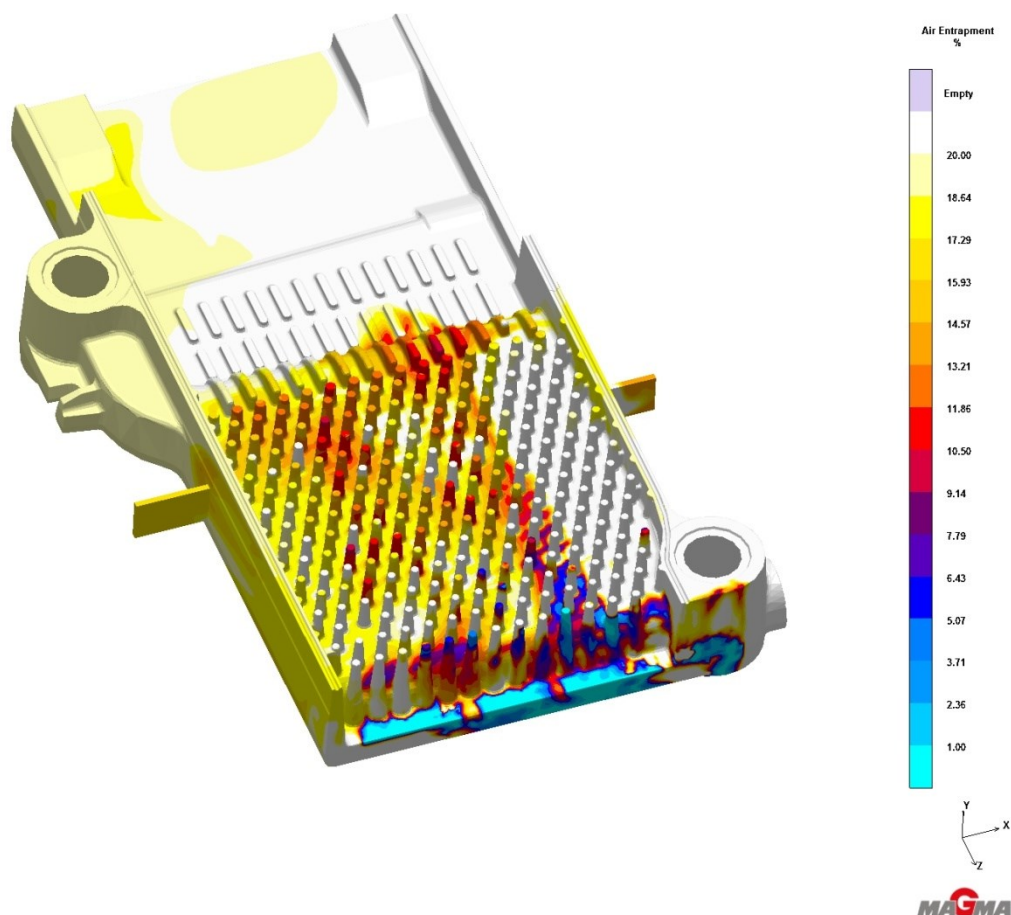


Obr. 22 Simulace plnění kotlového článku tekutým kovem

Druhé ověření simulačním programem Magmasoft®, byla kontrola vývinu plynů ve formě při plnění kotlového článku tekutým kovem.

Jak je vidět na obr. 23, vývin plynu při plnění formy tekutým kovem v místech výskytu dřívějších vad nebyl potvrzen. (Vše co je na stupnici vpravo pod hodnotou 6 odpovídá nedostatečnému odplynění formy).

dalibor2iv01
Air Entrapment
10.000s 100.00 %



Obr. 23 Simulace vývinu plynu při plnění formy

5. Verifikace navržené technologie

Ověření nově navrhnuté výrobní technologie proběhlo na závodě VIADRUS a.s. za podpory zainteresovaných pracovníků společnosti.

Touto technologií bylo odlito 29 odlitků kotlových článků, které po vytlučení z formy a následné vizuální kontrole byly bez viditelných slévárenských vad (přípečeniny, nezaběhlý).

Po následném obvodovém obroušení a odtlakování nebyly zjištěny žádné vady typu **bodliny, zadrobeniny, bubliny**.

Hmotnost vtokové soustavy se snížila z 12,5 kg. na 6,2 kg.

Stupeň využití tekutého kovu η -vypočteme z rovnice 11.

$$\eta = \frac{G_{\check{c}}}{G_h} \cdot 100 \quad (\%) \quad (11)$$

$$\eta = \frac{23}{29,2} \cdot 100$$

$$\eta = 78,76\%$$

Stupeň využití tekutého kovu se zvýšil z 64,78 % na 78,76 %.

Druhá provozní zkouška byla uskutečněna na odlitcích kotlových článků. Výsledky druhé provozní zkoušky jsou znázorněny v tabulce 9.

Tabulka 9 - Vyjádření neshodné výroby z titulu „nezaběhlý“ po úpravě vtok. soustavy

Hrubá výroba (ks.)	Počet nezab. odlitků (ks.)	Vyjádřeno v %
684	3	0,43%

Předmětem této zkoušky bylo také stanovení možného snížení lící teploty. Dosavadní stav byl na teplotách 1424 °C (začátek lití-měřeno v pánvi) s prodlevou do 1410 °C (konec lití).

Původní stav navržený technologem

1. série: Teplota v předpeci 1469 °C.

Naletí tekutého kovu do pánve a začátek odlévání při teplotě 1424°C (měřeno v pánvi).

Odlití posledního 5 článku při teplotě 1410°C (měřeno v pánvi).

Zkušební série 2x 5 odlitků se sníženou lící teplotou

1. série: Teplota v předpeci 1469 °C.

Ochlazení tekutého kovu v pánvi a začátek odlévání při teplotě 1405°C (měřeno v pánvi).

Odlití posledního 5 odlitku při teplotě 1390°C (měřeno v pánvi).

2. série: Teplota v předpeci 1472 °C.

Ochlazení tekutého kovu v pánvi a začátek odlévání při teplotě 1394°C (měřeno v pánvi).

Odlití posledního 5 odlitku při teplotě 1379°C (měřeno v pánvi).

Obě zkušební série po vytlučení odlitku z formy byly bez známky jakýchkoliv technologických vad.

6. Závěr

Cílem této práce bylo zpracovat kompletní technologický návrh výroby odlitku z litiny s lupínkovým grafitem.

Na začátku byla teoreticky popsána problematika litin jako materiálu, jejich specifikace, značení a vlastnosti.

Ve druhé kapitole následoval popis výrobních agregátů jako je formovací linka, kuplovna, jaderna a přípravná formovací směs. Část této kapitoly byla věnována některým propočtům původní vtokové soustavy s popisem důvodů její obměny.

Třetí kapitola je výpočtová s návržením rozměrů jednotlivých prvků nové vtokové soustavy.

Navržená technologie byla ověřena programem Magmasoft®.

Zkušební série odlitků splnila výpočtové předpoklady, vyhovuje požadavkům formy z hlediska kvality odlitku.

Navrženou technologii lití bylo docíleno dosti značných úspor z mnoha hledisek. Mezi hlavní hledisko bych označil velkou úsporu tekutého kovu, absenci technologických vad (v provedené zkoušce), snížení pracnosti s oddělováním vtokové soustavy od odlitku a opracování obvodovým broušením.

Snížení lící teploty povede k úsporám z hlediska vynaložených energií a surovin při výrobě tekutého kovu.

Od poloviny měsíce května 2013 bude tato inovace vtokové soustavy zavedena do plného provozu na závodě VIADRUS a.s. se sídlem v Bohumíně.

Seznam použité literatury

- [1] BEDNÁŘ, B. : *Technologičnost konstrukce I.* 1. vyd., ČVUT, Praha 2005. 146 s., ISBN 80-01-03268-X
- [2] ROUČKA, J.: *Metalurgie litin*, VUT FSI, vydal PC-DIR Real, s.r.o., Brno, 1998.
- [3] GEDEONOVÁ, Z., JELČ, I. *Metalurgia liatin*, 1.vyd. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2000. 288s
- [4] PODRABSKÝ, T, POSPÍŠILOVÁ, S. *Struktura a vlastnosti grafitických litin* [online]. Brno: 16.11.2006 [cit. 2013-04-25]. Dostupné naWWW: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=0>.
- [5] VONDRÁK, V. , HAMPL, J., HANUS, A. : *Metalurgie litin, Mimopecní zpracování roztavené litiny*, 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 136s. ISBN 80 – 248 – 0777 - 7
- [6] KOŘENÝ, R. : *Výrobní postupy odlitků (učební pomůcka pro cvičení)*, ES VŠB-TU Ostrava, 1989, 161 s.
- [7] BEDNÁŘÍK, M. : *Vtoková technika a lití odlitků ze šedé litiny*, Praha 1961, ISBN 301–05–54
- [8] VONDRÁK,V., PAVELKOVÁ, A. : *Metalurgie litin vtokové soustavy a nálitkování*, ES VŠB-TU Ostrava, 1999, ISBN 80-7078-626-4
- [9] JELÍNEK, P. : *Slévárství*, ES VŠB-TU Ostrava, 2010, dotisk 5. vydání, 261s. ISBN 978-80-248-1282-3
- [10] MARINČEK, B.: *Giesserei technik*, wiss. Beih., 17, str. 57-60, 1965
- [11] BEELEY, P.: *Foundry Technology*, Butterworth - Heinemann, Oxford 2001, ISBN 0-7506-4567-9
- [12] MURGAŠ, POKUSA, PODHORSKÝ, POKUSOVÁ : *Technologia zlievarenstva*, vydala Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2001, 185 s., ISBN 80-227-1480-1
- [13] PÍŠEK, F. , JENÍČEK, L. RYŠ, P. : *Nauka o materiálu I, Nauka o kovech 4. svazek - Železo a jeho slitiny*, vydala ACADEMIA Praha, 1975, str. 478-480

Seznam obrázků

- Obr. 1 Rovnovážný diagram Fe - C ----- Fe - Fe₃C
- Obr. 2 Strukturní diagramy podle Uhlitsche a Weichelta
- Obr. 3 Tvar grafitu v litinách
- Obr. 4 Schéma uspořádání očkování v lici jamce
- Obr. 5 Vtoková soustava pro očkování kompaktními tělisky
- Obr. 6 Různé způsoby očkování plněnými profily do proudu kovu
- Obr. 7 Očkování do mezipánve
- Obr. 8 Očkování přes zátku odlévacího zařízení
- Obr. 9 Schéma vtokové soustavy pro odlévání litin
- Obr. 10 Schéma kuplovny
- Obr. 11 Zákalková zkouška
- Obr. 12 Očkování do proudu kovu
- Obr. 13 Odlévání vzorku pro termickou analýzu
- Obr. 14 Odlévání kotlových článků do forem z jednotné formovací směsi
- Obr. 15 Jádro kotlového článku
- Obr. 16 Původní rozvržení vtokové soustavy kotlového článku
- Obr. 17 Kotlový článek s vadou nezaběhlý
- Obr. 18 Kotlový článek s vadou nezaběhlý
- Obr. 19 a, b Průřez zářezů
- Obr. 20 Rozměry struskového kanálu
- Obr. 21 Nový návrh vtokové soustavy kotlového článku
- Obr. 22 Simulace plnění kotlového článku tekutým kovem
- Obr. 23 Simulace vývinu plynu při plnění formy

Seznam tabulek

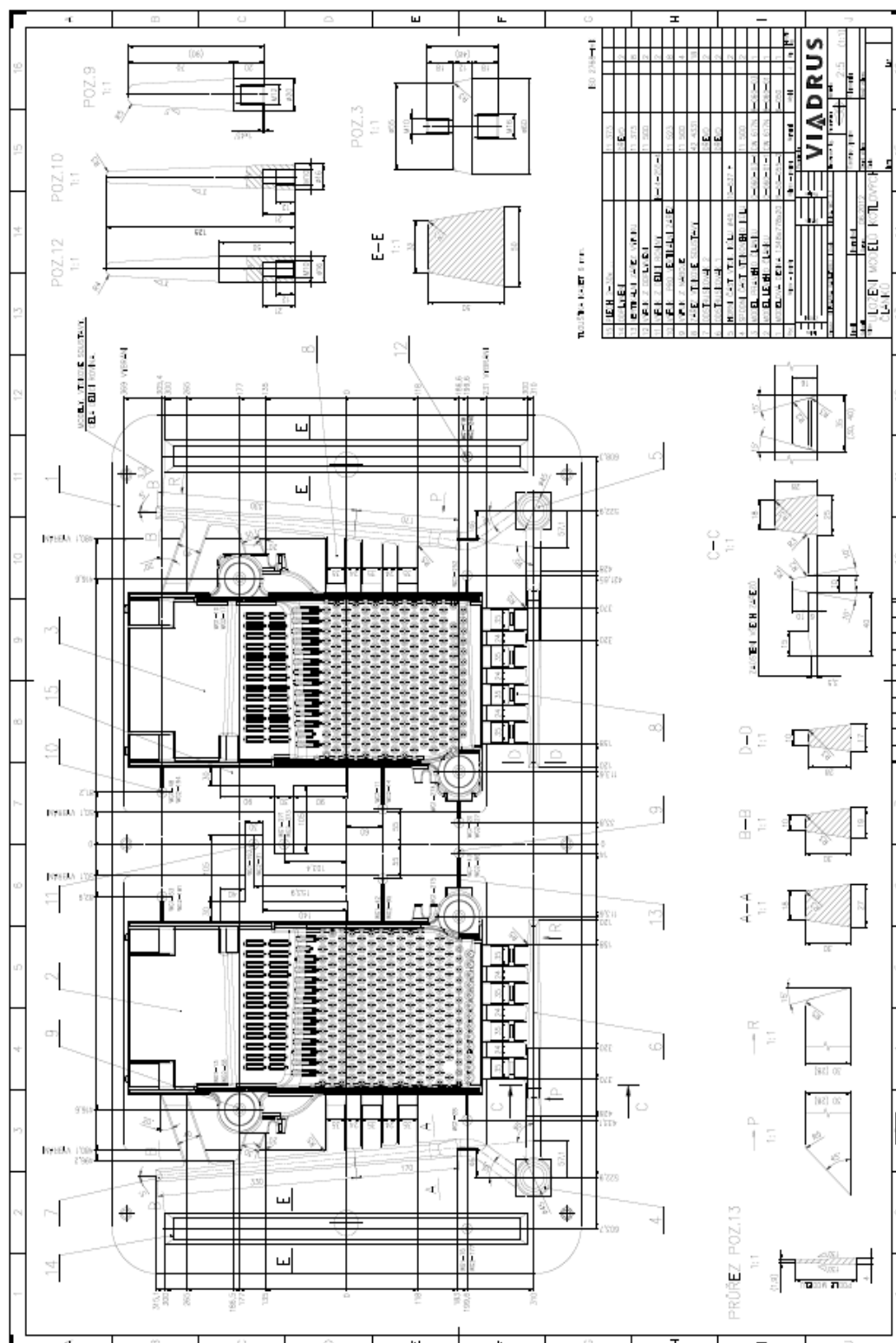
- Tab. 1 Značení litin dle starší normy ČSN 42 0006
- Tab. 2 Doplnující informace ke značení slitin dle ČSN EN 1560
- Tab. 3 Hodnoty odporu formy proudění tekutého kovu
- Tab. 4 Chemické složení litiny pro výrobu kotlových článků a ostatních odlitků dle ČSN 42 2420 (EN - GJL - 200)
- Tab. 5 Složení jádrové směsi
- Tab. 6 Složení jednotné bentonitové směsi
- Tab. 7 Technologické vlastnosti formovací směsi
- Tab. 8 Procentuální vyjádření neshodné výroby z titulu „nezaběhlý“
- Tab. 9 Vyjádření neshodné výroby z titulu „nezaběhlý“ po úpravě vtok. soustavy

Seznam příloh

Příloha P 1 - Konstrukční výkres původní vtokové soustavy s kotlovým článkem

Příloha P 2 - Konstrukční výkres nově navržené vtokové soustavy s kotlovým článkem

Příloha P 1 - Konstrukční výkres původní vtokové soustavy s kotlovým článkem



Příloha P 2 - Konstrukční výkres nově navržené vtokové soustavy s kotlovým článkem

